



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 09 701 A 1**

⑤1 Int. Cl. 5:
G 01 B 11/02
G 01 B 9/02
G 01 C 3/00

⑳ Aktenzeichen: P 42 09 701.0
㉔ Anmeldetag: 25. 3. 92
㉕ Offenlegungstag: 30. 9. 93

DE 42 09 701 A 1

㉚ Anmelder:
Asea Brown Boveri AG, Baden, Aargau, CH

㉛ Vertreter:
Rupperecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 61476 Kronberg

㉜ Erfinder:
Bohnert, Klaus, Dr., Niederrohrdorf, CH; Fauth,
Mathias, Dr., 5620 Bremgarten, DE

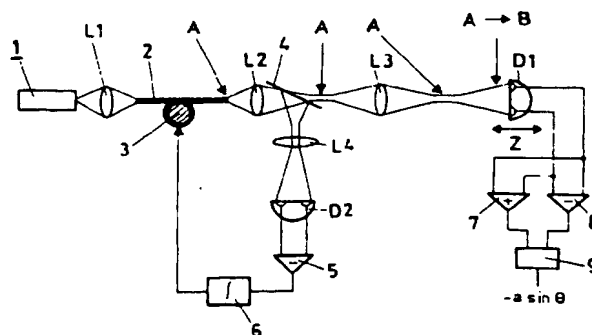
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 34 22 772 C2
DE 40 01 954 A1
DE 38 41 742 A1
DE 38 21 046 A1
DE 36 19 923 A1
GB 22 36 030 A
US 50 17 772
SU 16 20 825 A1

BOHNERT, Klaus: Messen mit Glasfasern. In:
TECHNISCHE RUNDschau 26/90, S.42-47;

⑤4 Optischer Entfernungssensor

⑤7 Bei einem optischen Entfernungssensor werden in einer Zweimodenfaser (2) durch einen Laser (1) zwei spezielle Moden angeregt, die am Ausgang der Faser ein Interferenzmuster bilden, welches sich beim Übergang vom Nah- zum Fernfeld ($A = > B$) in definierter Weise in Abhängigkeit vom Abstand zum Faserende bzw. dessen Abbild ändert. Durch Auswertung des Interferenzmusters mit einem hinter dem Faserende angeordneten Doppeldetektor (D1) kann in präziser und eindeutiger Weise auf die Entfernung des Detektors zum Faserende geschlossen werden.



DE 42 09 701 A 1

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Entfernungsmessungstechnik. Sie betrifft einen optischen Entfernungssensor.

PASTAND DER TECHNIK

Die herkömmliche Entfernungsmessung mit Licht basiert auf verschiedenen Methoden, welche sich insbesondere auch im Meßbereich unterscheiden (siehe dazu z. B. den Artikel von H. Kikuta et al., Appl. Optics Vol. 25, Nr. 16, S. 2976—2980 (1986)). Für die Bestimmung großer Entfernungen (> mehrere Kilometer) wird die Laufzeit eines Lichtimpulses gemessen, für die Bestimmung mittlerer Entfernungen (1—1000 m) wird das Licht frequenzmoduliert und die Phasenverschiebung der Modulation des zurückgestreuten Lichts bezüglich einer internen Referenz gemessen (siehe z. B. den Artikel von G. Alt et al., Sensor Magazin 2/90, S. 26—30 (1990)). Mit einem Interferometer wird dabei die Phasendifferenz zwischen dem Licht in einem Referenzarm und dem vom Objekt zurückgestreuten Licht bestimmt. Nachteilig ist bei dieser Methode, daß entweder der Meßbereich eingeschränkt ist (kleiner als die halbe Wellenlänge), oder aber beim Zählen von Interferenz-Maxima und -Minima zusätzliche Mittel erforderlich sind, um die Richtung der Distanzänderung zu bestimmen. Eine andere Methode der Entfernungsmessung, bei der ebenfalls Schwebungsmaxima gezählt werden müssen, ist der FM-Radar-Technik entlehnt und benutzt eine Modulation der Laserfrequenz (siehe dazu den Artikel von T. Kubota et al., Opt. Lett. Vol. 12, Nr. 5, S. 310—312 (1987)).

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen optisch arbeitenden Entfernungssensor zu schaffen, der es auf einfache Weise gestattet, Entfernungen im Bereich von Millimetern zu messen, wobei der Zusammenhang zwischen Entfernung und Meßsignal eindeutig ist, so daß keine Unkenntnis über die Richtung der Distanzänderung vorliegt.

Die Aufgabe wird gelöst durch

- a) eine optische Zweimodenfaser mit einem ersten und zweiten Faserende und einem elliptischen Kern, wobei die Parameter der Zweimodenfaser so gewählt sind, daß sich in ihr der Grundmodus LP_{01} und der gerade LP_{11} -Modus ausbreiten können;
- b) einen Laser, welcher vor dem ersten Faserende angeordnet ist und die beiden Moden in der Zweimodenfaser anregt; und
- c) erste Mittel zum Messen der Phasendifferenz beider Moden aus dem am zweiten Faserende auftretenden, aus beiden Moden gebildeten Interferenzmuster in Abhängigkeit von der Entfernung zum zweiten Faserende unter Ausnutzung des Guoy-Effektes, d. h. der Änderung der Phasendifferenz beider Moden beim Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld.

Schlüsselement des Sensors nach der Erfindung ist eine Zweimodenfaser, deren Parameter so gewählt sind, daß sie gerade zwei bestimmte Moden führt. Am Faser-

ende beobachtet man ein Interferenzmuster dieser beiden Moden, dessen Gestalt (Intensitätsverteilung) vom relativen Phasenunterschied der beiden Moden abhängig ist. Mit zunehmender Entfernung vom Faserende (beim Übergang vom Nah- auf das Fernfeld) wächst dieser Phasenunterschied kontinuierlich an. Der von der Entfernung zum Faserende abhängige Phasenunterschied äußert sich in einer abstandsabhängigen Form des Interferenzmusters, die zur Entfernungsmessung ausgewertet wird.

Eine erste bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensors zeichnet sich dadurch aus, daß

- a) die beiden Moden durch den Laser mit etwa gleicher Intensität angeregt werden; und
- b) zweite Mittel vorgesehen sind, welche einen Regelkreis umfassen, der einen festen Phasenunterschied zwischen beiden Moden im Nahfeld direkt am zweiten Faserende bewirkt.

Der Regelkreis sorgt dafür, daß der Phasenunterschied unmittelbar am zweiten Faserende einen festen Wert, vorzugsweise $\pm \pi/2$ (Modulo 2π) einnimmt und beibehält. Im optischen Fernfeld hat er in diesem Fall dann den Wert π (Modulo 2π) bzw. 0 (Modulo 2π).

Diese Ausführungsform hat den Vorteil einer eindeutigen und stabilen Phasenlage der beiden Moden, so daß besonders einfach reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden können.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfassen die ersten Mittel

- a) einen ersten, hinter dem zweiten Faserende angeordneten Doppeldetektor mit zwei unabhängigen Detektoren zum Messen des aus den zwei Moden entstehenden Interferenzmusters, und zwei den unabhängigen Detektoren zugeordneten Detektorausgängen,
- b) einen ersten Subtrahierer mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des ersten Subtrahierers mit den beiden Detektorausgängen des ersten Doppeldetektors verbunden sind;
- c) einen Addierer mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des Addierers mit den beiden Detektorausgängen des ersten Doppeldetektors verbunden sind; und
- d) einen Dividierer mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des Dividierers mit den Ausgängen des Addierers und des ersten Subtrahierers verbunden sind.

Diese Anordnung ermöglicht eine einfache und genaue Bestimmung der Phasendifferenz, die dann in entsprechende Entfernungswerte umgerechnet werden kann.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 eine erste bevorzugte Ausführungsform des Sensors nach der Erfindung, bei welcher der erste Doppeldetektor selbst um die zu messende Entfernung verschoben wird;

Fig. 2 eine zu Fig. 1 analoge Ausführungsform, bei welcher der erste Doppeldetektor fixiert bleibt, während ein Meßspiegel um die zu messende Entfernung verschoben wird;

Fig. 3 verschiedene ausgewählte Interferenzmuster im Nah- und Fernfeld einer Zweimodenfaser aus Fig. 1 und 2;

Fig. 4 die Kurve der Abhängigkeit der Phasendifferenz der beiden Moden in der Zweimodenfaser von der Wegkoordinate Z bei Sensoren gemäß Fig. 1 und 2; und

Fig. 5 eine auf Fig. 2 aufbauende Ausführungsform mit zusätzlicher Bestimmung des Interferenzkontrastes a.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1 und 2 sind zwei bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Sensors dargestellt, die sich im wesentlichen durch die Art der Meßwertaufnahme (direkte Verschiebung eines Detektors oder indirekte Verschiebung über einen Meßspiegel) unterscheiden.

Der Aufbau gemäß Fig. 1 umfaßt als zentrales Element eine Zweimodenfaser 2 mit einem elliptischen Kern. Die Parameter der Zweimodenfaser 2 sind so gewählt, daß die den Grundmodus LP_{01} und den geraden LP_{11} -Modus leitet. Diese Art der optischen Faser ist an sich bereits bekannt und z. B. in dem Artikel von B. Y. Kim et al., Opt. Lett. Vol. 12, Nr. 9, S. 729—731 beschrieben. Die Zweimodenfaser 2 hat ein erstes und zweites Faserende. Am ersten Faserende wird Licht aus einem Laser 1 über eine erste Linse L1 in die Zweimodenfaser eingekoppelt und regt die beiden Moden an.

Wenn sich nun die beiden Moden entlang der Zweimodenfaser 2 ausbreiten, baut sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausbreitungskonstanten am zweiten Faserende in einem Nahfeld A ein Phasenunterschied Φ zwischen den beiden Moden auf, der zu einer Interferenz beider Moden mit einem spezifischen Interferenzmuster führt. Werden beide Moden mit etwa gleicher Intensität angeregt, ändert sich dieses Interferenzmuster als Funktion der Phasendifferenz Φ , wie dies für spezielle Werte von Φ in der oberen Hälfte der Fig. 3 für das Nahfeld A wiedergegeben ist (die weißen Felder in der Figur stehen für ein durch destruktive Interferenz hervorgerufenes Intensitätsminimum, die schwarzen Felder für ein durch konstruktive Interferenz hervorgerufenes Intensitätsmaximum). Beim Übergang vom Nahfeld A zu einem Fernfeld B ändert sich die Phasendifferenz Φ um einen definierten Wert, so daß die in der unteren Hälfte von Fig. 3 dargestellten Interferenzmuster resultieren.

Die beiden Moden werden zur Erklärung im Folgenden näherungsweise durch den Gaußmodus TEM_{00} und durch den TEM_{01} -Modus beschrieben. Beim Übergang vom Nah- zum Fernfeld (A \rightarrow B) erfährt ein TEM_{lm} -Modus entlang der Ausbreitungsrichtung eine zusätzliche Phasenverschiebung Θ_{lm} (siehe dazu A. Yariv, "Quantum Electronics", Sec. Edition, John Wiley & Sons, New York 1975, S. 118):

$$\Theta_{lm} = (l + m + 1) \times \tan^{-1}(Z/Z_0) \quad (1)$$

mit

$$Z_0 = \pi \times r_0^2 / \lambda \quad (2)$$

Hierbei ist Z der axiale Abstand von dem zweiten Faserende, r_0 der Radius, bei dem die Feldintensität des

Gaußmodus auf das $(1/e)$ -fache der Maximalfeldstärke abgefallen ist, und λ ist die Wellenlänge des Lasers 1. Z_0 ist dann der Rayleigh-Bereich, d. h. der Strahl ist bei diesem Abstand vom Focus um den Faktor $\sqrt{2}$ aufgeweitet.

Für die beiden hier betrachteten Moden TEM_{00} (entspricht LP_{01}) und TEM_{01} (entspricht LP_{11}) ergibt sich ein von Z abhängiger Phasenunterschied $\Delta\Theta = \Theta_{01} - \Theta_{00}$ welcher gemäß Fig. 4 von $\tan^{-1}(Z/Z_0)$ abhängt, d. h. von der Entfernung zum zweiten Faserende (siehe dazu den Artikel von S. Y. Huang et al., Opt. Fiber Sensors, Vol. 44, S. 38—43 (1989)):

$$\Delta\Theta = \tan^{-1}(Z/Z_0) \quad (3)$$

In der Anordnung gemäß Fig. 1 (und auch Fig. 2) wird das Nahfeld A über zwei Linsen L2 und L4 sowie einen ersten halbdurchlässigen Spiegel 4 vergrößert auf einen Doppeldetektor D2 abgebildet, welcher der Arbeitspunktregelung dient. Der Doppeldetektor D2 enthält zwei unabhängig nebeneinander angeordnete Detektoren, welche die jeweils zwei (ellipsenförmigen), in Fig. 3 dargestellten Intensitätsverteilungen des Nahfeldes in entsprechende Spannungssignale umwandeln und an zugeordneten Detektorausgängen abgeben.

Durch die elektronische Arbeitspunktstabilisierung wird die Phasendifferenz zwischen den beiden Moden am zweiten Faserende vorzugsweise auf $\Phi = \pm \pi/2$ (Modulo 2π) eingestellt. Die Spannungssignale am Ausgang des Doppeldetektors D2 werden mit U_1 und U_2 bezeichnet und sind abhängig von der Phasendifferenz Φ zwischen den beiden Moden am Faserende:

$$U_1 = U_0(1 + a \times \cos \Phi) \quad (4)$$

$$U_2 = U_0(1 - a \times \cos \Phi) \quad (5)$$

wobei U_0 die zur Laserintensität proportionale Detektorspannung und a der Interferenzkontrast des Faser-Interferometers ist ($a \leq 1$). Mittels eines hinter dem Doppeldetektor D2 angeordneten Subtrahierers 5 wird das Differenzsignal aus beiden Spannungssignalen gebildet:

$$U_1 - U_2 = 2 \times a \times \cos \Phi \quad (6)$$

Die Arbeitspunktstabilisierung erfolgt über eine piezoelektrisch bewirkte Faserstreckung. Die Zweimodenfaser 2 wird dazu fest um einen (zylindrischen) piezokeramischen Modulator 3 gewickelt. Das Differenzsignal aus dem Subtrahierer 5 wird dem Modulator 3 über einen zwischengeschalteten Integrator 6 als Steuersignal zugeführt. Die Regelung erfolgt damit so, daß die Intensitäten in beiden (elliptischen) Substrukturen des Interferenzmusters gleich groß ist (mittlerer Fall in der oberen Hälfte von Fig. 3). Damit ergibt sich ein Phasenunterschied von $\pi/2$ zwischen den beiden Fasermode, sofern — was vorausgesetzt ist — die beiden Detektoren des Doppeldetektors D2 dieselbe Empfindlichkeit besitzen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß grundsätzlich anstelle des Nahfeldes A auch das Fernfeld B mit dem Doppeldetektor D2 detektiert und die beiden Strukturen des Fernfeldes zur Regelung des Arbeitspunktes herangezogen werden könnten. Die Phasendifferenz am Faserende wäre dann $\pm \pi$ (Modulo 2π).

Die aus den Elementen 3 bis 6 und L4, D2 bestehende Regelstrecke dient nur der Festlegung und Stabilisie-

nung des Arbeitspunktes. Die eigentliche Entfernungsmessung (d. h. die Bestimmung des Abstandes zu einem Abbild des Faserendes) wird mit Hilfe eines weiteren Doppeldetektors D1 vorgenommen. Dazu wird das hinter dem halbdurchlässigen Spiegel 4 durch die Linse L2 abgebildete Faserende bzw. Nahfeld noch einmal über eine weitere Linse L3 abgebildet. Der Doppeldetektor D1 kann dann innerhalb des optisch abgebildeten Übergangsbereichs A → B vom Nah- zum Fernfeld verschoben werden. Die longitudinale Vergrößerung dieses Übergangsbereichs hinter L3 ist durch die Positionen und Brennweiten der Linsen L2 und L3 vorgegeben. Die beim Verschieben des Doppeldetektors D1 auftretende Phasenverschiebung der Spannungssignale am Ausgang von D1 gegenüber den Spannungssignalen am Ausgang von D2 entspricht dem Betrag der Verschiebung.

Die zusätzliche Phasenverschiebung Delta Θ der Interferenzsignale am Doppeldetektor D1 relativ zur Nahfeldphase kann aus den an den Ausgängen des Doppeldetektors D1 anstehenden Spannungssignalen U_3 und U_4 folgendermaßen bestimmt werden:

$$U_3 = U_0 (1 + a \times \cos(\Theta + \text{Delta } \Theta)) \quad (7)$$

$$U_4 = U_0 (1 - a \times \cos(\Theta + \text{Delta } \Theta)) \quad (8)$$

$$\frac{U_3 - U_4}{U_3 + U_4} = a \times \cos(\Theta + \text{Delta } \Theta) \quad (9)$$

Mit $\Theta = \pi/2$ ergibt sich somit aus Gleichung (9):

$$\frac{U_3 - U_4}{U_3 + U_4} = a \times \sin(\text{Delta } \Theta) \quad (10)$$

Werden also aus den Spannungssignalen U_3 und U_4 am Ausgang des Doppeldetektors D1 durch jeweils einen Addierer 7 und einen Subtrahierer 8 die Summe und die Differenz beider Signale gebildet und in einem nachfolgenden Dividierer 9 in der angegebenen Weise durcheinander geteilt, läßt sich die zusätzliche Phasenverschiebung Delta Θ und damit (z. B. durch einen nachgeschalteten Rechner) nach Gleichung (3) der Abstand des Doppeldetektors D1 von der Abbildung des Faserendes bestimmen. Das Meßsignal ist von der Laserleistung unabhängig, hängt jedoch noch vom Interferenzkontrast a ab. Für eine hohe Meßgenauigkeit muß a möglichst stabil gehalten werden. Man erreicht dies durch die Wahl einer kurzen Zweimodenfaser 2. Polarisationsfluktuationen werden damit klein gehalten und der optische Weglängenunterschied der beiden Fasermoden ist viel kleiner als die Kohärenzlänge des Lasers 1. Zum Erreichen einer möglichst großen Kohärenzlänge wird als Laser 1 vorzugsweise eine Monomode-Laserdiode verwendet.

Bei hohen Genauigkeitsanforderungen kann durch die in Fig. 5 dargestellte Schaltung zusätzlich der Interferenzkontrast a unabhängig bestimmt werden. Dazu wird die Entfernungsmessung für eine kurze Zeitspanne unterbrochen und die Wellenlänge des Laserlichtes aus dem Laser 1 mittels eines Modulators 13 mit nachfolgendem Lasertreiber 12 moduliert. Die Wellenlängenmodulation bewirkt eine Phasenmodulation am Ausgang der Zweimodenfaser 2. Wenn die Modulationsamplitude mindestens $\pm \pi$ beträgt, kann man Minimum I_{\min} und Maximum I_{\max} der Interferenzmodulation an einem oder mehreren Detektoren, z. B. an dem Doppeldetektor D2, mit Hilfe eines nachgeschalteten Extremwertdetektors 14 detektieren und daraus in einer Aus-

werteschaltung 15 den Interferenzkontrast a nach Maßgabe der Gleichung

$$a = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (11)$$

bestimmen. Das Ergebnis aus dem Dividierer 9 kann dann in einem weiteren Dividierer 16 durch a geteilt und somit von a unabhängig gemacht werden.

Die Frequenz der Phasenmodulation sollte oberhalb des Frequenzbereichs der Arbeitspunktregelung liegen. Falls das nicht der Fall ist, muß die Arbeitspunktregelung während der Phasenmodulation ausgeschaltet werden. Bei Verwendung einer Monomode-Laserdiode als Laser 1 kann dabei die Wellenlänge auf einfache Art und Weise über den Betriebsstrom der Laserdiode moduliert werden, wie dies in Fig. 5 wiedergegeben ist.

Während in der Anordnung gemäß Fig. 1 der Doppeldetektor D1 selbst als Meßwertaufnehmer verschoben wird, kann er gemäß Fig. 2 in einer Position fixiert werden, wenn als Meßwertaufnehmer ein verschiebbarer Meßspiegel 11 verwendet wird, der das aus Linse L3 kommende Licht in der Achse zurückreflektiert, wo es durch einen zweiten halbdurchlässigen Spiegel 10 seitlich aus der Achse heraus auf den Doppeldetektor D1 umgelenkt wird. Es entsteht vor dem Doppeldetektor D1 dann eine Abbild des Faserendes bzw. ein Nahfeld A, welches sich mit einer Verschiebung des Meßspiegels 11 auf den Doppeldetektor D1 zu- oder von ihm fortbewegt, so daß sich auch hier der relative Abstand von Detektor zu Abbild des Faserendes ändert.

Beispiel

Für $\lambda = 800 \text{ nm}$ und $r_0 = 1,5 \mu\text{m}$ ergibt sich gemäß Gleichung (2) ein Raleigh-Bereich von $Z_0 = 8,8 \mu\text{m}$. Nimmt man eine transversale Vergrößerung durch die Linsen L2 und L3 von $M_T = 10$ an, so ergibt sich eine longitudinale Vergrößerung von $M_L = 100$, da $M_L = -M_T^2$. Nutzt man nun den in Fig. 4 angedeuteten Meßbereich von $\pm 4^\circ (Z/Z_0)$ aus, so entspricht dies einer Phasenverschiebung von $\text{Delta } \Theta = \pm 76^\circ$. Die Detektion dieser 152° Phasenverschiebung entspräche dann einem Meßbereich von $\pm 3,5 \text{ mm}$. Der Meßbereich läßt sich dabei — wie bereits erwähnt — über die Wahl der Vergrößerung, die Faserparameter und die Laserwellenlänge in weiten Grenzen einstellen und verändern.

Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung ein optischer Entfernungsmesser, welcher sich durch einen einfachen Aufbau, hohe Meßgenauigkeit, Stabilität und vor allem durch einen großen, eindeutigen Meßbereich auszeichnet.

Bezeichnungsliste

- 1 Laser
- 2 Zweimodenfaser
- 3 piezokeramischer Modulator
- 4, 10 halbdurchlässiger Spiegel
- 5, 8 Subtrahierer
- 6 Integrator
- 7 Addierer
- 9, 16 Dividierer
- 11 Meßspiegel
- 12 Lasertreiber
- 13 Modulator
- 14 Extremwertdetektor
- 15 Auswerteschaltung

A Nahfeld (der Zweimodenfaser)
 B Fernfeld (der Zweimodenfaser)
 D1, D2 Doppeldetektor
 L1, ..., L4 Linse
 Z Abstandskoordinate

Patentansprüche

1. Optischer Entfernungssensor, **gekennzeichnet durch**

- a) eine optische Zweimodenfaser (2) mit einem ersten und zweiten Faserende und einem elliptischen Kern, wobei die Parameter der Zweimodenfaser (2) so gewählt sind, daß sich in ihr der Grundmodus LP_{01} und der gerade LP_{11} -Modus ausbreiten können;
- b) einen Laser (1), welcher vor dem ersten Faserende angeordnet ist und die beiden Moden in der Zweimodenfaser (2) anregt; und
- c) erste Mittel zum Messen der Phasendifferenz beider Moden aus dem am zweiten Faserende auftretenden, aus beiden Moden gebildeten Interferenzmuster in Abhängigkeit von der Entfernung zum zweiten Faserende unter Ausnutzung des Guoy-Effektes, d. h. der Änderung der Phasendifferenz beider Moden beim Übergang vom Nahfeld (A) zum Fernfeld (B).

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) die beiden Moden durch den Laser (1) mit etwa gleicher Intensität angeregt werden; und
- b) zweite Mittel vorgesehen sind, welche einen Regelkreis umfassen, der einen festen Phasenunterschied zwischen beiden Moden im Nahfeld (A) direkt am zweiten Faserende bewirkt.

3. Sensor nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Mittel umfassen

- a) einen ersten, hinter dem zweiten Faserende angeordneten Doppeldetektor (D1) mit zwei unabhängigen Detektoren zum Messen des aus den zwei Moden entstehenden Interferenzmusters, und zwei den unabhängigen Detektoren zugeordneten Detektorausgängen,
- b) einen ersten Subtrahierer (8) mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des ersten Subtrahierers (8) mit den beiden Detektorausgängen des ersten Doppeldetektors (D1) verbunden sind;
- c) einen Addierer mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des Addierers (7) mit den beiden Detektorausgängen des ersten Doppeldetektors (D1) verbunden sind; und
- d) einen Dividierer (9) mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des Dividierers (9) mit den Ausgängen des Addierers (7) und des ersten Subtrahierers (8) verbunden sind.

4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Doppeldetektor (D1) in einem Abstand hinter dem zweiten Faserende in Richtung der optischen Achse der Zweimodenfaser (2) verschiebbar angeordnet ist und zur Messung einer Entfernung selbst um diese Entfernung verschoben wird.

5. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) ein Meßspiegel (11) in einem Abstand hinter dem zweiten Faserende in Richtung der optischen Achse der Zweimodenfaser (2) derart verschiebbar angeordnet ist, daß das aus dem zweiten Faserende austretende Interferenzmuster in der optischen Achse der Zweimodenfaser (2) zurückreflektiert wird, und der Meßspiegel (2) zur Messung einer Entfernung um diese Entfernung verschoben wird; und
- b) das von dem Meßspiegel (11) zurückreflektierte Interferenzmuster mittels eines ersten halbdurchlässigen Spiegels (10) aus der optischen Achse heraus auf den fest angeordneten ersten Doppeldetektor (D1) derart umgelenkt wird, daß ein Abbild des Nahfeldes (A) vor dem ersten Doppeldetektor entsteht.

6. Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Mittel umfassen

- a) einen zweiten Doppeldetektor (D2) mit zwei unabhängigen Detektoren zum Messen des aus den zwei Moden entstehenden Interferenzmusters, und zwei den unabhängigen Detektoren zugeordneten Detektorausgängen;
- b) dritte Mittel zur Abbildung des Interferenzmusters des Nahfelds auf die beiden Detektoren des zweiten Doppeldetektors (D2);
- c) einen zweiten Subtrahierer (5) mit zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei die zwei Eingänge des zweiten Subtrahierers (5) mit den Detektorausgängen des zweiten Doppeldetektors (D2) verbunden sind;
- d) einen Integrator (6) mit einem Eingang und einem Ausgang, welcher dem zweiten Subtrahierer (5) nachgeschaltet ist; und
- e) ein piezokeramischer Modulator (3), welcher vom Ausgang des Integrators (6) angesteuert wird und mit der Zweimodenfaser (2) mechanisch derart verbunden ist, daß ein an den Modulator gelegtes Signal eine Längenänderung der Zweimodenfaser (2) bewirkt.

7. Sensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die aus den zweiten Mitteln gebildete Regelschleife so eingestellt ist, daß die Phasendifferenz der beiden Moden im Nahfeld direkt am zweiten Faserende $\pm \pi/2$ Modulo 2π beträgt.

8. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser (1) eine Monomode-Laserdiode verwendet wird.

9. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) dritte Mittel zur unabhängigen Bestimmung des Interferenzkontrastes des am zweiten Faserende auftretenden Interferenzmusters vorgesehen sind; und
- b) hinter den ersten Mitteln vierte Mittel zur Eliminierung des Interferenzkontrastes aus der gemessenen Phasendifferenz angeordnet sind.

10. Sensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) die dritten Mittel einen Detektor zur Messung der Intensität der Interferenzmuster, einen nachgeschalteten Extremwertdetektor (15), eine daran anschließende Auswerteschaltung (15) und einen an die Auswerteschaltung (15) angeschlossenen Modulator (13) zur Modulation der Wellenlänge des Lasers (1) umfassen; und

b) die vierten Mittel einen Dividierer (16) umfassen, in welchem das von den ersten Mitteln abgegebene Meßsignal durch den Interferenzkontrast dividiert wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

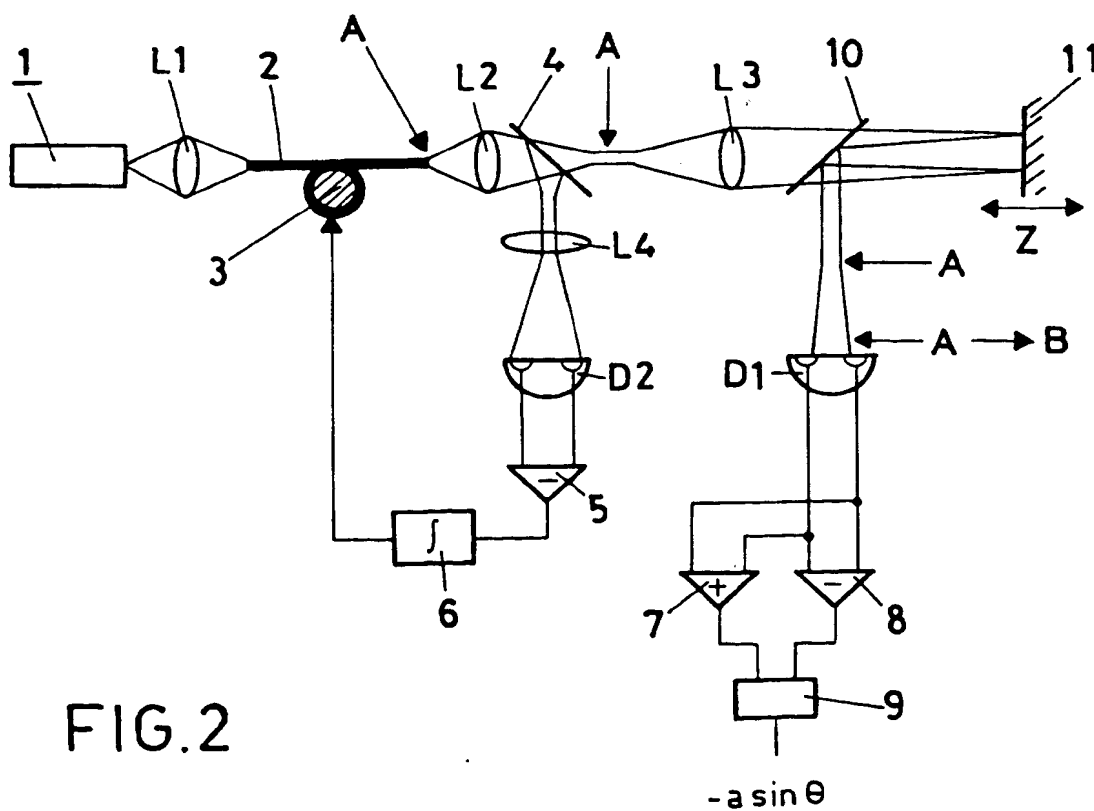
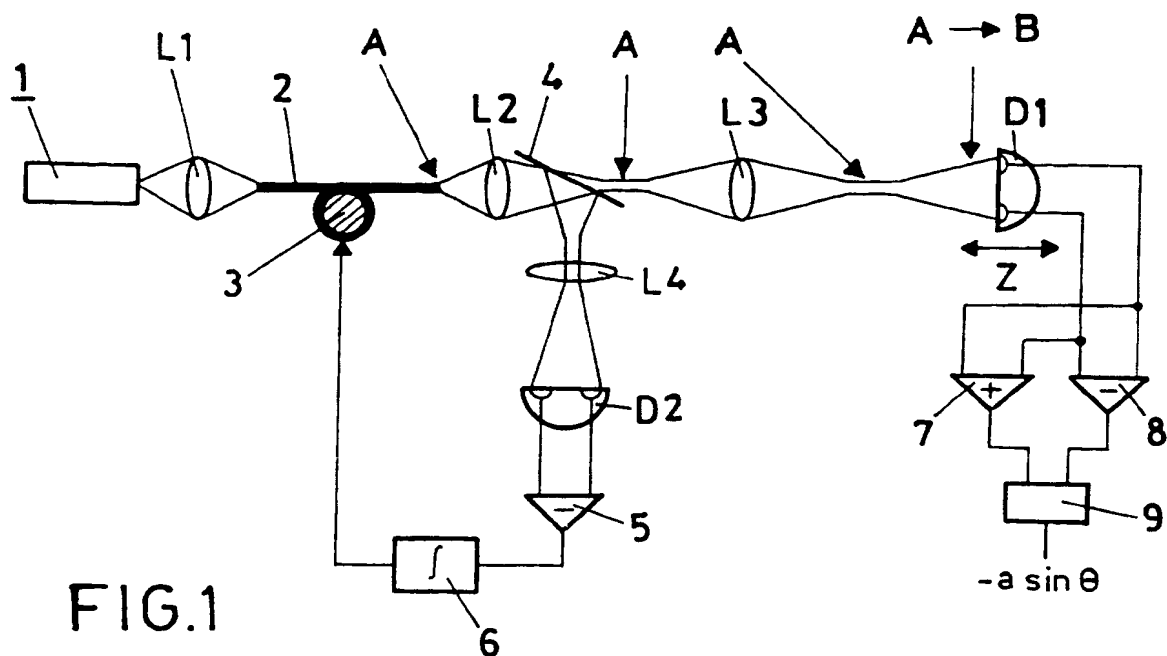
50

55

60

65

- Leerseite -



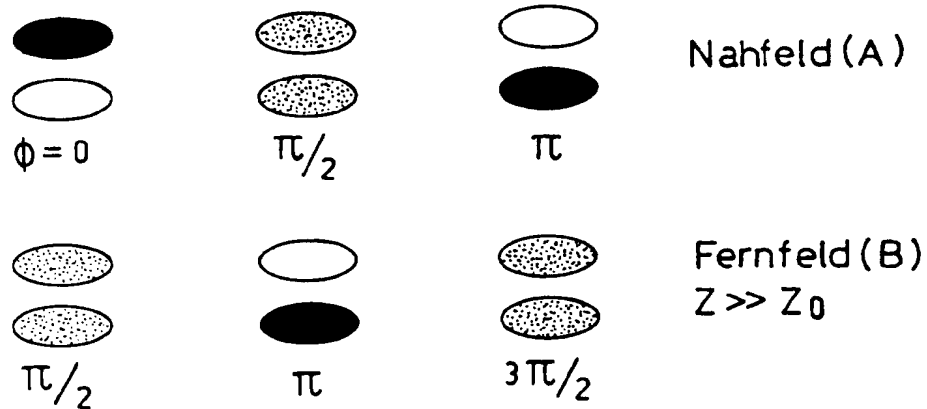


FIG.3

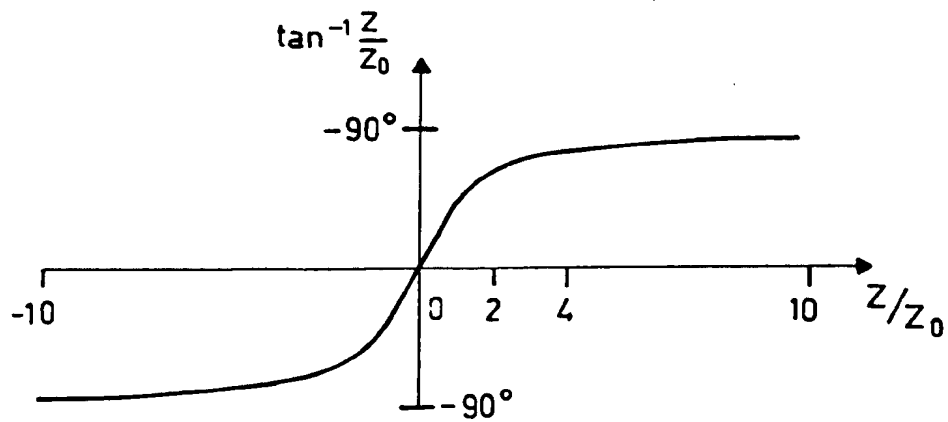


FIG.4

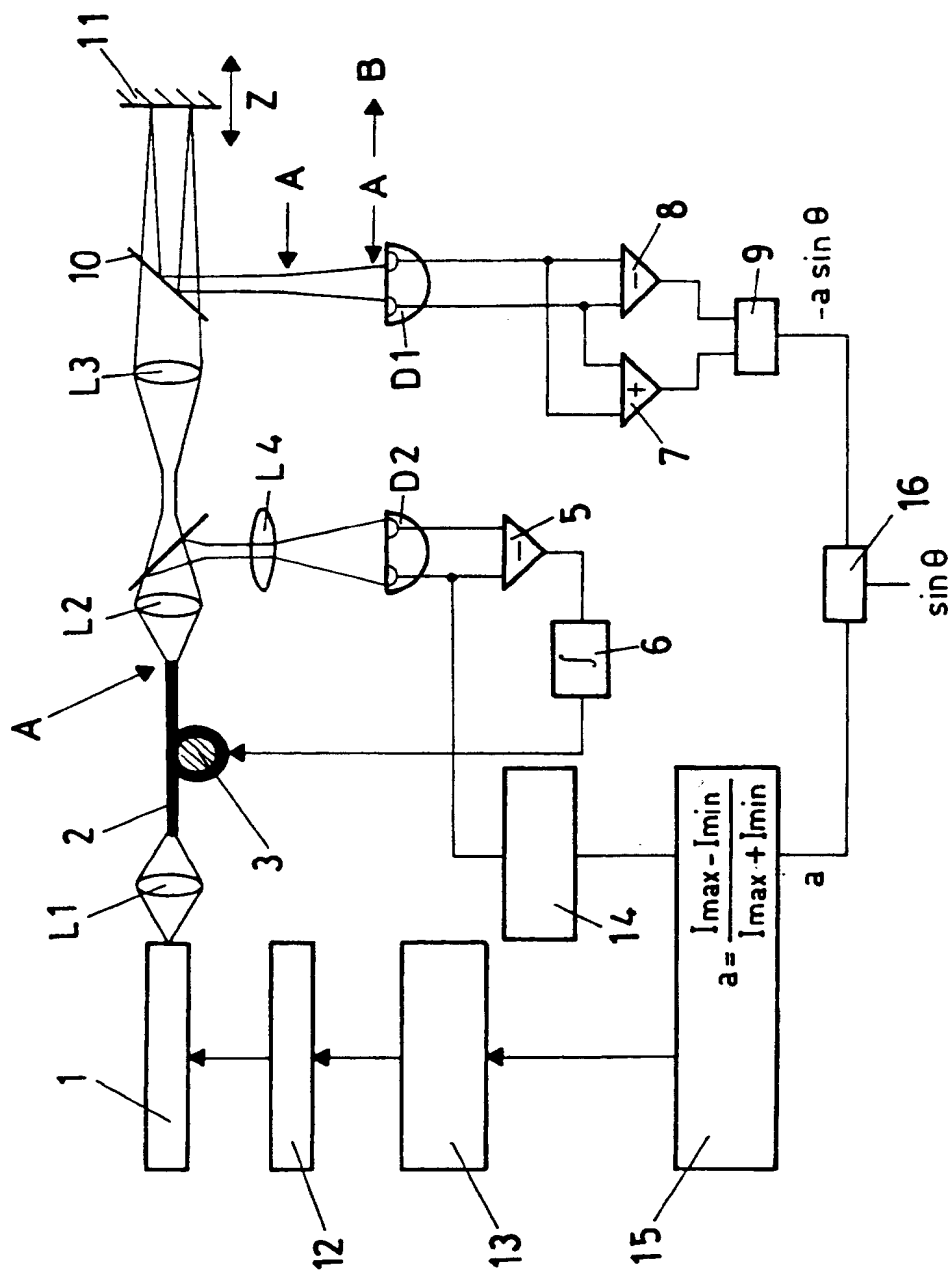


FIG.5